



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**ANIMACE SILOVÝCH POMĚRŮ U POHYBOVÝCH
ŠROUBŮ**

ANIMATION OF FORCE RELATIONS ON POWER SCREW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tom Jonáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Tom Jonáš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Animace silových poměrů u pohybových šroubů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je vytvoření souboru animací objasňujících geometrické, silové a napěťové poměry u pohybových šroubů, jako např. vznik jednochodého a vícechodého závitu, síly působící na čtvercový a lichoběžníkový závit nebo samosvornost šroubu.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Metody
5. Výsledky
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva

Typ práce: teoretická

Účel práce: vzdělávání

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Zásady pro vypracování práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2016.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam literatury:

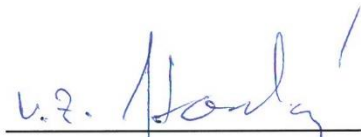
Shigley, J. E., Mischke, C. R. a Budynas, R. G. (2010): Konstruování strojních součástí. VUT IUM, Brno.

Dejl, Z. (2000): Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů : návrh, výpočet, konstrukce. Montanex, Ostrava.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 1. 12. 2015

L. S.



prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Obsahem této bakalářské práce je tvorba animací v programu Cinema 4D. Animace objasňují, jaké síly vznikají při pohybu po pohybovém šroubu, podmínku samosvornosti a geometrie mezi silami. Animace budou sloužit pro vzdělávací účely studentů, pro lepší pochopení dané problematiky a pro lepší představu prostorového rozmístění sil a úhlů. V práci je popsáno prostředí programu, postup při tvorbě animací a popis jednotlivých animací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pohybový šroub, samosvornost, součinitel tření, čtvercový závit, lichoběžníkový závit, animace

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with creating animations in program Cinema 4D. The animations show what forces are generated during nut movements along the moving bolt, also show self-locking conditions and geometry between forces. These animations will be used for educational purposes for students, for a better understanding of the issue, and for a better idea of spatial distribution of forces. The thesis describes the software environment and the process of creating particular animations.

KEY WORDS

Power screw, self-locking, frictional coefficient, square thread, trapezoidal thread, animation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JONÁŠ, T. *Animace silových poměrů u pohybových šroubů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 36 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Martinovi Hartlovi, Ph.D., za jeho odborné rady, připomínky, pomoc při optimalizaci animací a konzultace poskytnuté během zpracování této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Animace silových poměrů u pohybových šroubů vypracoval sám pod dohledem vedoucího práce prof. Ing. Martina Hartla, Ph.D., a všechny odborné zdroje jsem uvedl v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 19. května 2017

.....
Tom Jonáš

OBSAH

1 ÚVOD	12
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	13
2.1 Šrouby, šroubové a závitové spoje obecně	13
2.2 Základní názvosloví	13
2.2.1 Nakloněná rovina	13
2.2.2 Šroubovice	14
2.2.3 Závitová plocha	14
2.2.4 Pohybové šrouby	15
2.2.5 Samosvornost	15
2.3 Tření.....	15
2.3 Silové poměry na čtvercovém závitu	16
2.4 Silové poměry na lichoběžníkovém závitu.....	18
2.5 Samosvornost šroubu.....	20
3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	21
4 METODY	22
4.1 Postup tvorby animace.....	23
4.2 Prostředí Cinema 4D	25
5 VÝSLEDKY	27
5.1 Vytvoření jednochodého a vícechodého závitu	27
5.2 Silové poměry na čtvercovém závitu	27
5.3 Silové poměry na lichoběžníkovém rovnoramenném závitu	28
5.4 Samosvornost šroubu.....	28
5.5 Silové poměry na čtvercovém závitu pro spouštění břemene	29
6 DISKUZE	30
7 ZÁVĚR	31
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN.....	33
10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ.....	34
11 SEZNAM TABULEK	35
12 SEZNAM PŘÍLOH	36

1 ÚVOD

Pohybové šrouby složí k přeměně rotačního pohybu na posuvný a fungují na stejném principu nakloněné roviny jako šrouby spojovací. Pohybové šrouby jsou konstrukčně určeny k tomu, aby za pomoci rotačního pohybu vytvářeli posuvný pohyb s přesně daným poměrem. Příklad použití je u šroubový zvedák, svěrka nebo posuv soustruhu. Spojovací šrouby slouží ke spojování součástí v jeden celek, kde osová síla ve šroubu je tak velká, že vytváří dostatečně velkou sílu, aby se spojované součásti proti sobě nepohybovali. Šrouby hrají ve strojírenství velkou roli a téměř u každého stroje je najdeme. Proto vznikla tato bakalářská práce, aby objasnila, na jakém principu šroub funguje a jaké síly v něm vznikají.

Základním principem je pohyb po nakloněné rovině a tření. U čtvercových závitů se jedná o rovinou 2D úlohu, u závitů s úhlem sklonu boků, o prostorovou 3D úlohu.

Nedílnou součástí problematiky šroubů je samosvornost, která je nutností u spojovacích šroubů ale i u některých pohybových šroubů, např. šroubové zvedáky a svěrky.

Tato práce je především zaměřená na tvorbu animací k názornému objasnění problematiky pohybových šroubů. Animace jsou určeny zejména pro vzdělávací účely studentům Fakulty strojního inženýrství na VUT v Brně.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2

V této kapitole jsou popsány teoretické podklady týkající se pohybových šroubů, které jsou znázorněny v animacích. Všechny rovnice jsou odvozeny podle [1], [2] a [3].

2.1 Šrouby, šroubové a závitové spoje obecně

2.1

Šrouby, šroubové a závitové spoje obecně jsou nejpoužívanějším spojem napříč různými obory, nejen ve strojírenství. Základním prvkem šroubu, což je otočná strojní součást, je závitová plocha, která zajišťuje pevné spojení součástí v rozebíratelném šroubovém spoji, případně i s maticí. Šrouby se podle funkce dělí na šrouby spojovací a pohybové. Spojovací šrouby se používají pro pevné spojení dvou a více součástí, pohybové šrouby mění otáčivý pohyb v posuvný a naopak.

Šroubový spoj je základní konstrukční prvek pro spojování konstrukcí. Skládá se obvykle ze šroubu a matice, případně podložek. Šroubové spoje se dělí podle několika kritérií – rozebíratelnost, působení spoje (tvarový styk, silový styk, materiálový styk) anebo podle styku (bezprostřední, zprostředkovaný). Šroubové spoje jsou vhodné pro rozebíratelné součásti a konstrukce. Toho se s výhodou používá například u konstrukcí montovaných hal ve stavebnictví, kdy je požadavek na možnou rozebíratelnost a možnost přestěhování haly na jiné místo.

Rozměry a materiály šroubů jsou dány mezinárodními nebo národními standardy či normami. Podle potřeby použití a účelu se prvky vyrábějí z různých materiálů, nejběžnější jsou uhlíkové a legované oceli, případně s různými povrchovými úpravami. Závit se vyrábí v normalizovaných rozměrech pro možnost kompatibility a záměny výroků. Lze vyrobit atypický rozměr závitů, akorát matice a šroub musí mít stejné parametry závitů, aby spolu mohli fungovat. V těchto případech při výměně jedné z komponent je nutné vyrobit novou, nelze ji koupit.

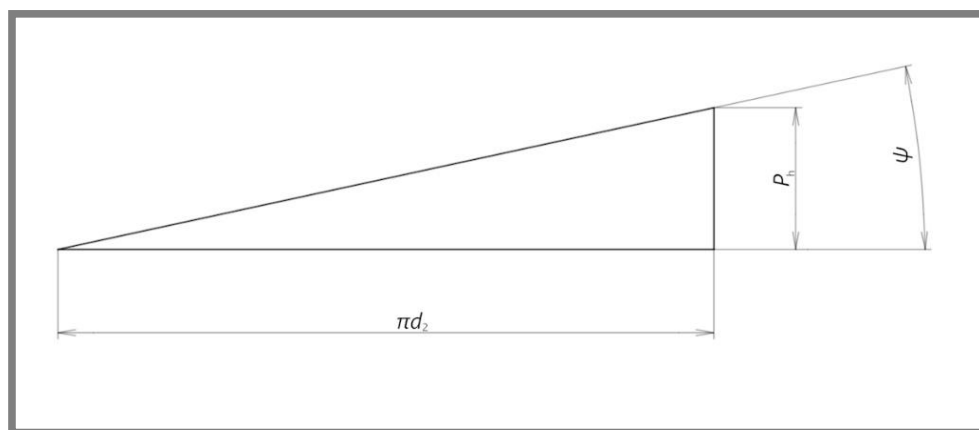
2.2 Základní názvosloví

2.2

2.2.1 Nakloněná rovina

Nakloněná rovina je základem závitů, protože výpočet se převádí na pohyb po nakloněné rovině, což je rozvinutá šroubovice, která tvoří základ závitové plochy. Pro úhel nakloněné roviny platí vztah [2]

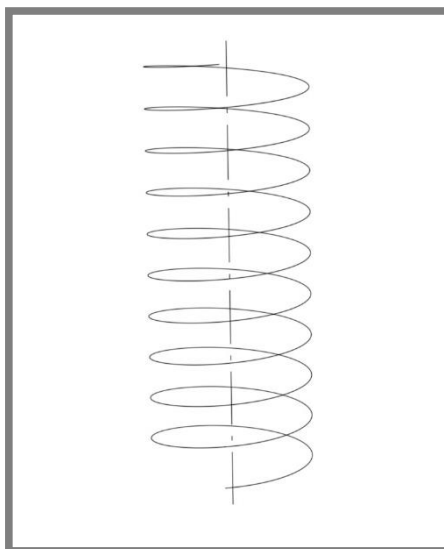
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P_h}{\pi d_2}. \quad (2-1)$$



Obr. 2-1 Nakloněná rovina

2.2.2 Šroubovice

Šroubovice je křivka, jejíž vlastností je, že ve všech bodech mají její tečny stejný úhel k pevně dané přímce – ose. Šroubovice vzniká otáčením bodu kolem pevné osy a zároveň rovnoměrným posunem ve směru osy, nebo si ji lze představit jako navinutí přepony nakloněné roviny na válec. Šroubovici lze popsat poloměrem opisující rotační válcovou plochu, stoupáním závitu a tím, jestli je šroubovice pravotočivá nebo levotočivá.



Obr. 2-2 Šroubovice

2.2.3 Závitová plocha

Závít je prvek, jehož tvar je určen závítovou plochou. Ta vzniká vytažením profilu závitu po šroubovici.

2.2.4 Pohybové šrouby

Pohybové šrouby přenáší otáčivý pohyb na přímočarý a zároveň převádí točivý moment na sílu působící v ose šroubu. Pro snížení tření se používají lichoběžníkové vícechodé závity. Pohybové šrouby přenášející pohyb a silové zatížení v obou směrech, využívá se lichoběžníkový rovnoramenný závit, nebo v jednom směru, zde se využívá lichoběžníkový nerovnoramenný závit. Pohybové šrouby mívají větší úhel stoupání.

2.2.5 Samosvornost

Samosvornost je schopnost zabránit vzájemnému pohybu součástí. Projevuje se jako důsledek tření, a kromě součinitele tření f závisí na úhlu stoupání ψ . Může být ovlivněna deformací součástí nebo nepřesností z výroby. U spojovacích šroubů samosvornost zabezpečuje spoj proti uvolnění. U pohybových šroubů se samosvornost požaduje, pokud se šroub nemá působením břemene sám otáčet. V součástech, kde dochází k trvalým otřesům např. v motorech, letadlech či dopravních strojích se musí šroub i matice zajistit proti samovolnému uvolnění.

2.3 Tření

2.2

Tření vzniká při pohybu dvou těles ve vzájemném kontaktu. Pojem tření se používá při kontaktu mezi pevnými tělesy. Mezi kapalnými a plynnými tělesy se používá pojem odpor prostředí.

Při každém tření vzniká třecí síla, která působí proti směru pohybu. Energie nutná k překonání třecí síly se mění v teplo.

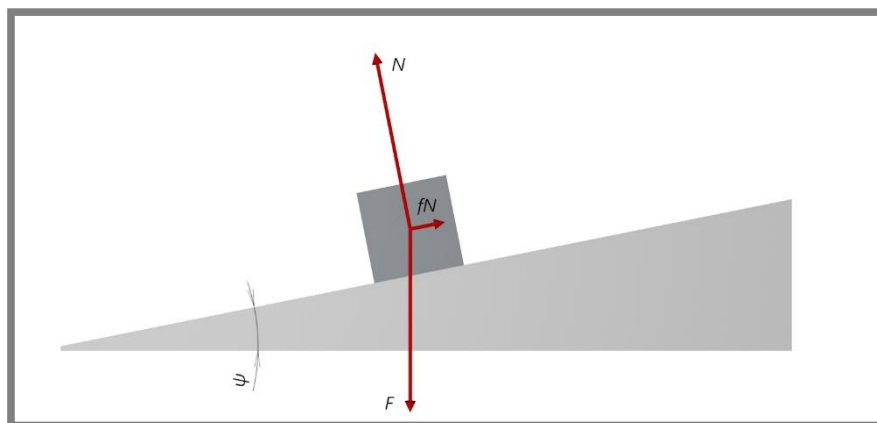
Tření mezi tělesy má za následek opotřebení těles. Pokud je žádoucí, je možné snížit třecí sílu a opotřebení použitím vhodných maziv. Součinitel tření f je fyzikální veličina, která udává poměr třecí a normálové síly, které jsou na sebe kolmé. Koeficient tření je různý pro různé kombinace materiálů.

Tab. 2-1 Součinitele tření v závitech f pro různé dvojice materiálů [1]

Materiál šroubu	Materiál matice			
	ocel	bronz	mosaz	litina
ocel za sucha	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
ocel, závity naolejovány	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
bronz	0,08-0,12	0,04-0,06	-	0,06-0,09

Velikost třecí síly je dána rovnicí

$$F_T = fN . \quad (2-2)$$



Obr. 2-3 Síly působící na nakloněné rovině

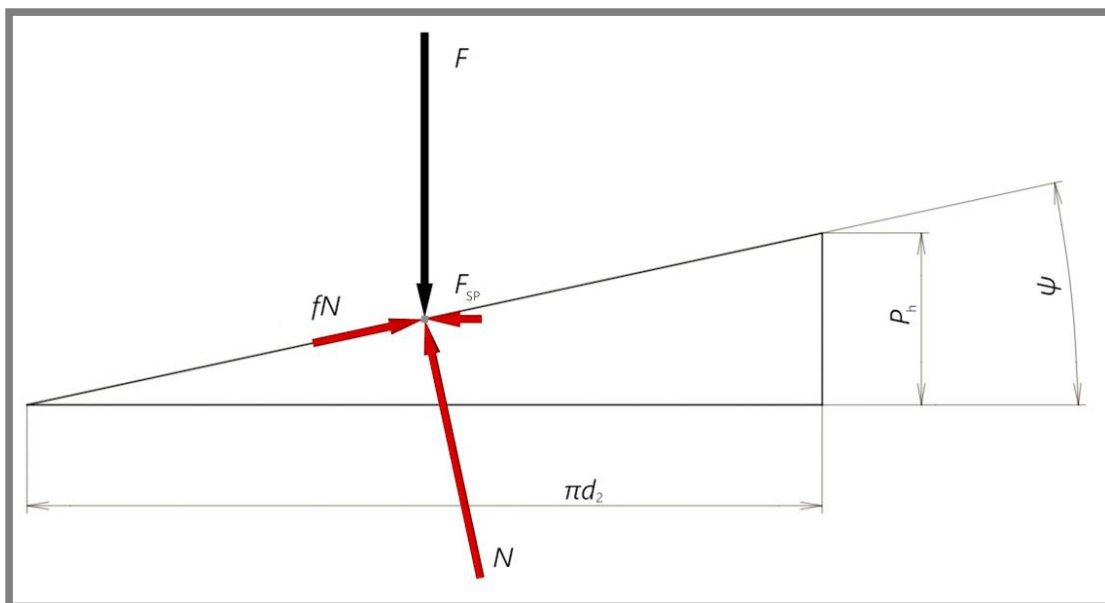
2.3 Silové poměry na čtvercovém závitu

Pro zjednodušení předpokladu výpočtu je výhodné odvodit silové poměry na šroubu se čtvercovým závitem. Zjištěné výsledky se snadno přepočítají pro ostatní druhy závitu se sklonem boků.

Překonáváním síly F , která působí v ose šroubu, vzniká tření v závitu. Rozbor silových poměrů se převádí na rozbor sil na nakloněné rovině. Ve výpočtu nefiguruje radiální složka normálové síly, čímž se výpočet zjednoduší na řešení rovnováhy sil na nakloněné rovině. Síla potřebná pro zvedání břemene F_{ZV} znázorněná na (obr. 2-2) působí doprava a síla potřebná pro spouštění břemene F_{SP} znázorněná na (obr. 2-3) působí doleva. Třecí síla je dána součinem součinitele tření f a normálové síly N a působí proti směru pohybu. Soustavu řešíme ve statické rovnováze, a proto platí rovnice statické rovnováhy ve všech směrech. Pro zvedání břemene platí

$$\sum F_H = F_{ZV} - N \sin \psi - fN \cos \psi = 0, \quad (2-3)$$

$$\sum F_V = F + fN \sin \psi - N \cos \psi = 0. \quad (2-4)$$

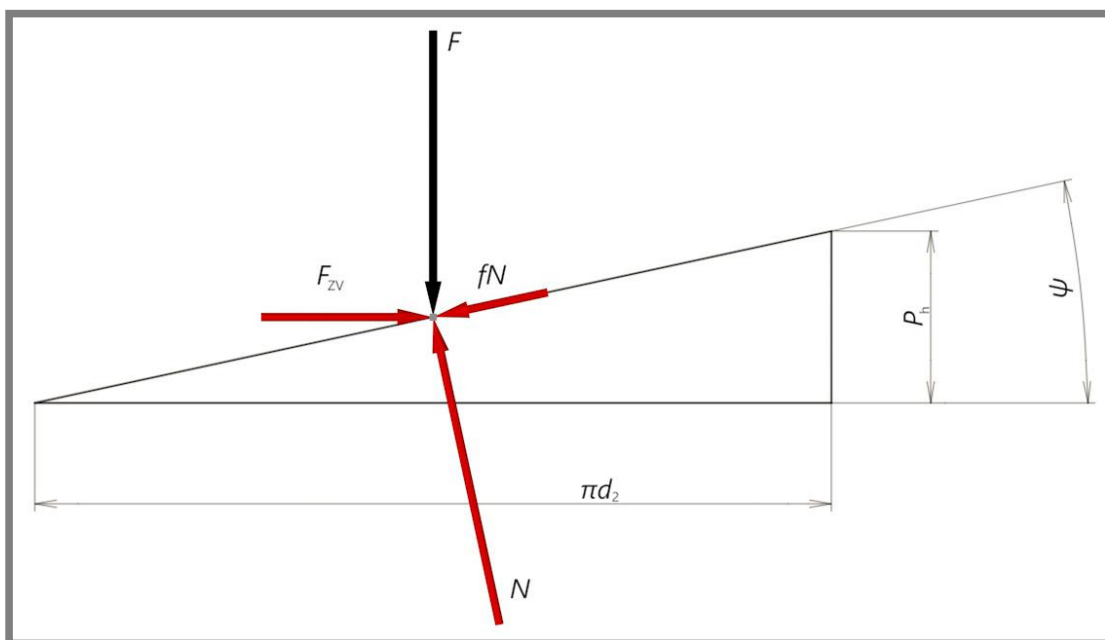


Obr. 2-4 Síly při zvedání břemene

Podobným způsobem lze psát rovnice pro spouštění břemene

$$\sum F_H = -F_{SP} - N \sin \psi + fN \cos \psi = 0, \quad (2-5)$$

$$\sum F_V = F - fN \sin \psi - N \cos \psi = 0. \quad (2-6)$$

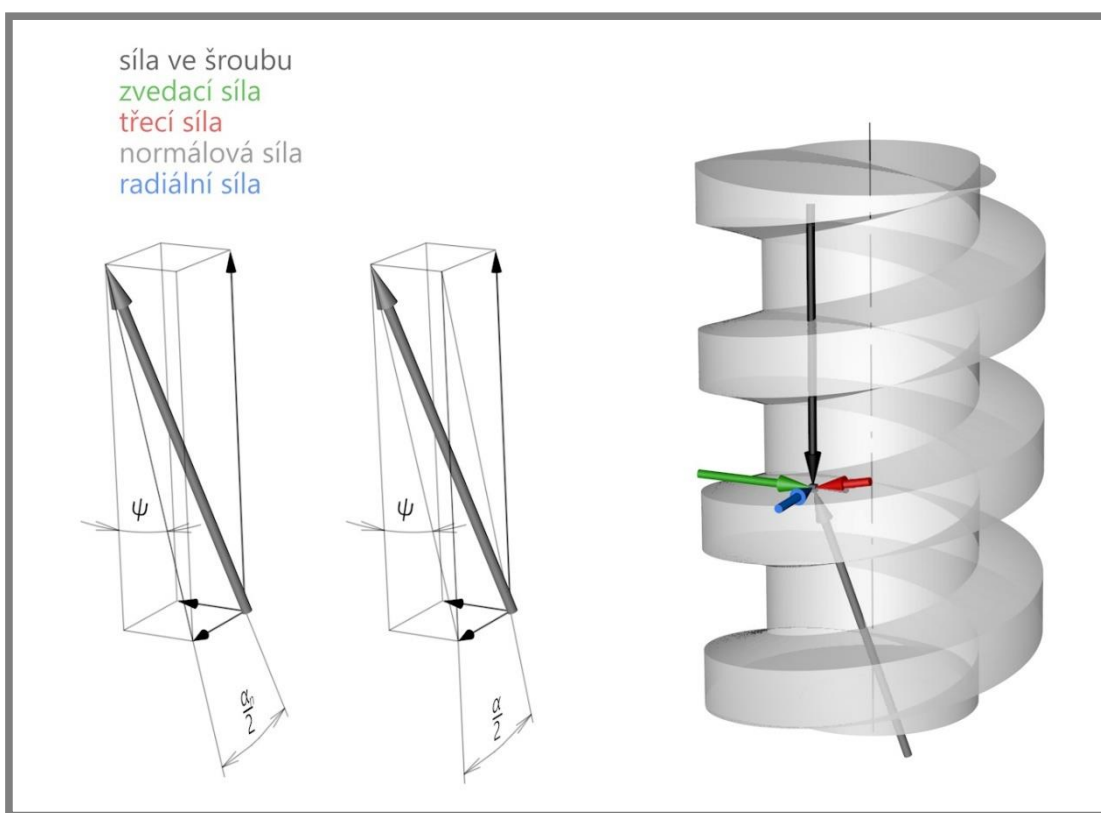


Obr. 2-5 Síly při spouštění břemene

2.4 Silové poměry na lichoběžníkovém závitě

Předchozí rovnice byly odvozeny pro čtvercový závit. Pro lichoběžníkové a jiné závity, jejichž boky svírají nenulový úhel je nutno rovnice upravit.

Normálová síla N musí být vždy kolmá na plochu závitu. Vlivem úhlu profilu závitu α je normálová síla odkloněna o úhel $\alpha_n/2$ a tím se zvětšuje i třecí síla. Rozdíly mezi úhly α a α_n můžeme vidět na obrázku 2-6. Ve většině případů lze v technické praxi předpokládat, že α_n se rovná přibližně α . Už také vzhledem k tomu, s jakou přesností je stanoven součinitel tření f . [2] Proto ve výpočtech figuruje α místo α_n pro zjednodušení výpočtu, při minimálních rozdílech vůči skutečnosti. Větší rozdíly mezi úhly jsou při vyšších úhlech stoupání nebo u vícechodých závitů, kde je vhodné při výpočtu zohlednit α_n .



Obr. 2-6 Normálová síla u lichoběžníkového závitu

Vztah mezi α a α_n je následující

$$\tan \frac{\alpha_n}{2} = \tan \frac{\alpha}{2} \cos \psi. \quad (2-7)$$

V rovnicích, oproti čtvercovému závitu, jsou členy znázorňující normálovou sílu vynásobeny cosinem příslušného úhlu boků $\alpha/2$.

Pro zvedání břemene platí

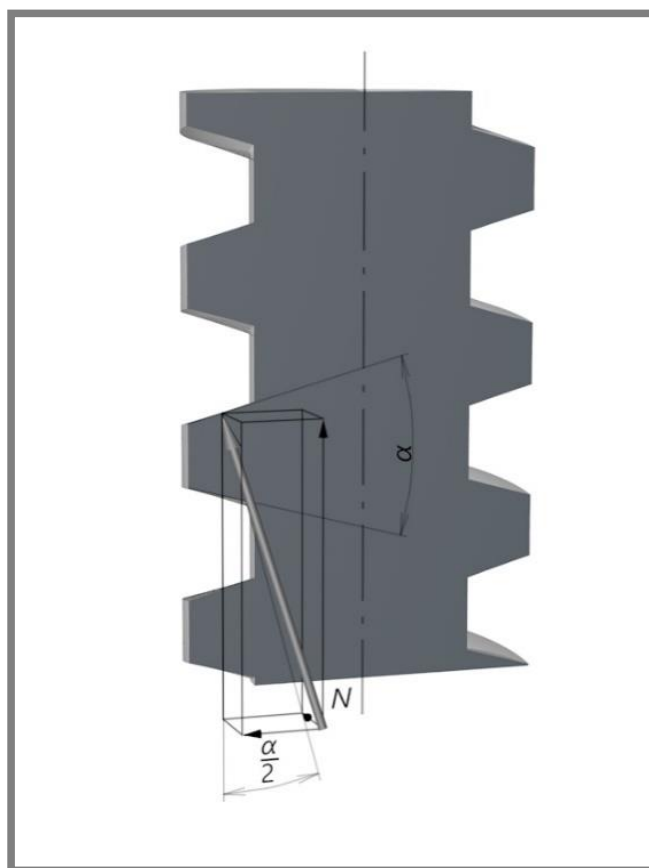
$$\sum F_H = -F_{SP} - N \cos \frac{\alpha}{2} \sin \psi + fN \cos \psi = 0, \quad (2-8)$$

$$\sum F_V = F - fN \sin \psi - N \cos \frac{\alpha}{2} \cos \psi = 0. \quad (2-9)$$

Pro spouštění břemene pak platí

$$\sum F_H = F_{ZV} - N \cos \frac{\alpha}{2} \sin \psi - fN \cos \psi = 0, \quad (2-10)$$

$$\sum F_V = F + fN \sin \psi - N \cos \frac{\alpha}{2} \cos \psi = 0. \quad (2-11)$$



Obr. 2-7 Normálová síla na lichoběžníkovém závitu

2.5 Samosvornost šroubu

Pokud by bylo tření v závitu velmi malé anebo stoupání příliš velké, mohlo by se stát, že by se šroub samovolně roztočil. V tom případě by byla síla F_{SP} nulová nebo záporná a šroub by nebyl samosvorný. Pokud je síla F_{SP} kladná, šroub se nazývá samosvorný. Podmínkou samosvornosti pak je

$$f\pi d_2 > P_h. \quad (2-12)$$

Vydělením obou stran této nerovnosti součinem πd_2 a využitím vztahu $P_h/\pi d_2 = \tan \psi$ dostaneme podmínku samosvornosti

$$f > \tan \psi. \quad (2-13)$$

Šroub se čtvercovým závitem je tedy samosvorný, je-li součinitel tření v závitu větší než tangens úhlu stoupání.

Pro závity, kde boky závitu svírají nenulový úhel je nutno rovnici transformovat do tvaru

$$f\pi d_2 > P_h \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2-14)$$

Stejnou úpravou jako v předchozím kroku získáme rovnici ve tvaru

$$f > \tan \psi \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (2-15)$$

Nelze opomenout, že se jedná o vztahy přibližné. Pro větší úhly stoupání (zejména u vícechodých závitů) je třeba uvážit přesný vliv úhlu stoupání na velikost normálové síly a ve výpočtu zaměnit úhel α úhlem α_n . [1]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3

Silové poměry na pohybových šroubech vychází z jednoduchých principů mechaniky, čtvercový závit je pouhý princip nakloněné roviny, zatímco lichoběžníkový je skloněná nakloněná rovina, což už je složitější na představení, vzhledem k rozkladu normálové síly do třech směrů. Cílem práce je vytvoření souboru animací objasňujících geometrické a silové poměry u pohybových šroubů. Proto vznikla tato práce, aby studentům ukázala, jak na výpočet sil nahlížet, v jakých směrech a pod jakými úhly síly působí. Název a stručný popis daných animací je v následujícím výčtu:

- Vytvoření jednochodého a vícechodého závitu – navinutí šroubovice na základní válec, vytažení základního profilu po šroubovici, porovnání jednochodého a dvouchodého závitu při stejné úhlové rychlosti.
- Silové poměry na čtvercovém závitu – zmenšení matice na elementární prvek, zakreslení silových poměrů, rozklad sil, animace silových poměrů v závislosti na úhlu stoupání.
- Silové poměry na lichoběžníkovém rovnoramenném závitu – zmenšení matice na elementární prvek, zakreslení silových poměrů, rozklad sil, 3D silový obrazec, rozklad normálové síly.
- Samosvornost šroubu – silové poměry na nakloněné rovině do úhlu samosvornosti, překročení samosvornosti a následný posun tělesa.
- Silové poměry na čtvercovém závitu pro spouštění břemene - animace silových poměrů při spouštění břemene v úhlech samosvornosti i nesamosvornosti šroubu.

4 METODY

Animace vznikly za použití programů AutoCAD 2016 od společnosti Autodesk, Cinema 4D R17 od společnosti MAXON, QuickTime od společnosti Apple Inc. a Premiere Pro CS6 od společnosti Adobe.

Program Cinema 4D je určen k všestrannému použití v různých oborech. Používá se například pro tvorbu jednotlivých snímků nebo animací, což se využívá při tvorbě animovaných i hraných filmů, her, architektonických prezentací apod. K tomu je využíván především díky kompatibilitě s různými formáty modelů, výkresů, vektorových obrazců, knihovně materiálů a realistickým renderům.

Program je jednoduchý na obsluhu a intuitivní. Pracovat v něm jsem se naučil pomocí výukových videí na internetu [5] a [6]. Poté jsem byl schopen vytvářet animace, které jsou součástí této bakalářské práce.

4.1 Postup tvorby animace

4.1



Obr. 4-1 Postup tvorby animace

- Náčrt – na samotném začátku je nejdůležitější celou animaci dobře rozplánovat a ideálně rozkreslit na papír s jednotlivými kroky, ušetří to mnoho času, pokud dopředu víte, jak má animace vypadat.
- Výpočet – u každé úlohy jsou síly na sobě geometricky a velikostně závislé, proto je potřeba určit jejich závislost předem a provést výpočet velikostí jednotlivých sil.
- Model v AutoCADu – před samotným modelováním je potřeba vytvořit v AutoCADu pomocnou konstrukci, např. náčrty, profil závitu, silové obrazce a kóty. V prostředí AutoCADu se tyto prvky vytvářejí jednodušeji a dají se následně importovat do programu Cinema 4D, kde tvoří výborný výchozí bod pro začátek modelování.
- Modelování – po vložení konstrukce se jednodušeji vytváří model vzhledem k předem daným přesným geometriím a možnosti vložení lokálních souřadných systémů vzhledem k vytvořené geometrii.
- Materiály – nastavení tloušťek čar, barev, vlastností a průhlednosti materiálů.
- Animování – rozpohybování modelu
- Render – vytvoření videa
- Optimalizace – oprava chyb po shlédnutí vyrenderovaného videa
- Procesy Render a Optimalizace se opakují do té doby, dokud není animace správná
- Další zpracování videa – zmenšení velikosti souboru v programu Premiere Pro.

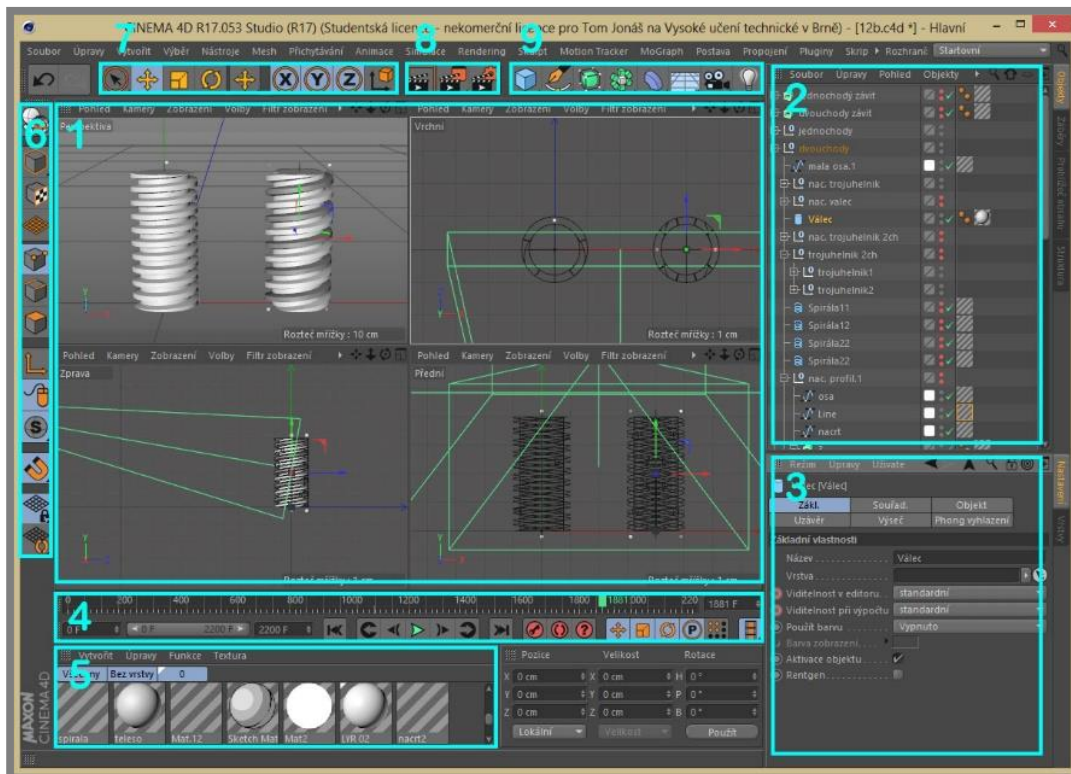
Při renderování je vhodné vypnout prvky, které jsou v danou chvíli neviditelné, aby se čas renderu zkrátil. Těmito úpravami je možné čas renderování zkrátit o 25 % celkového času. Rozlišení videa jsem zvolil 1920 x 1080 pixelů vzhledem k standardu FullHD monitorů a 30 snímků za sekundu. Z důvodu renderování videa ve vysokém rozlišení jsem do počítače doinstaloval program QuickTime, který rozšířil možnost renderování s kodekem h.264, díky čemuž se přestal rozpadat obraz při renderování delších videí, a navíc zmenšil velikost renderovaného videa na desetinu. Další zmenšení videa je provedeno v programu Premiere Pro, kde se video zmenšilo na desetinu předchozí velikosti. Přibližná doba výpočtu animace se pohybovala v rozmezí půl hodiny až 3 hodiny. Tabulka 4-1 ukazuje hlavní vlastnosti vytvořených animací.

Tab. 4-1 Vlastnosti animací

Rozlišení	1920 x 1080 px
Rychlost přehrávání	30 snímků za sekundu
Formát	MP4
Kodek	h.264

4.2 Prostředí Cinema 4D

Pracovní prostředí zobrazené na obr. 4-2 je rozděleno na 9 základních pracovních oblastí, které jsou jednotlivě podrobněji popsány níže.



Obr. 4-2 Pracovní rozhraní programu Cinema 4D

Oblast 1 - scéna – je hlavní prostředí, které zobrazuje model v různých pohledech. Je možné si zobrazit různý počet pohledů najednou a např. tak při úpravě spodního pohledu sledujeme zároveň změny v perspektivě, nebo v bočním pohledu. Horní menu nabízí několik možností úprav a nastavení. Nejdůležitější jsou kamery, kde vybíráme právě různé způsoby sledování pracovní plochy. Zobrazení nabízí možnost stínování v aktuálním okně. Pro práci je vhodné použít méně kvalitní vykreslení, které počítač méně zatěžuje a zrychluje jeho odezvu.

Oblast 2 – manažer objektů – tvoří strom jednotlivých prvků. Je zde vidět přiřazený materiál, viditelnost v prohlížeči a animaci. Objekty je možno dle potřeby uspořádat, přejmenovat, řadit, nebo odstranit atd.

Oblast 3 – panel nastavení – zobrazí nastavení aktuálně zvoleného objektu, slouží k nastavení vlastností tělesa, detailní úpravě parametrů, materiálů a pozice.

Oblast 4 - časová osa animace. Při posunu na časové ose se zobrazuje aktuální stav animace.

Oblast 5 – materiály – obsahuje seznam všech vytvořených materiálů pro danou animaci. Zobrazuje, jak materiál vypadá v danou chvíli v závislosti na časové ose.

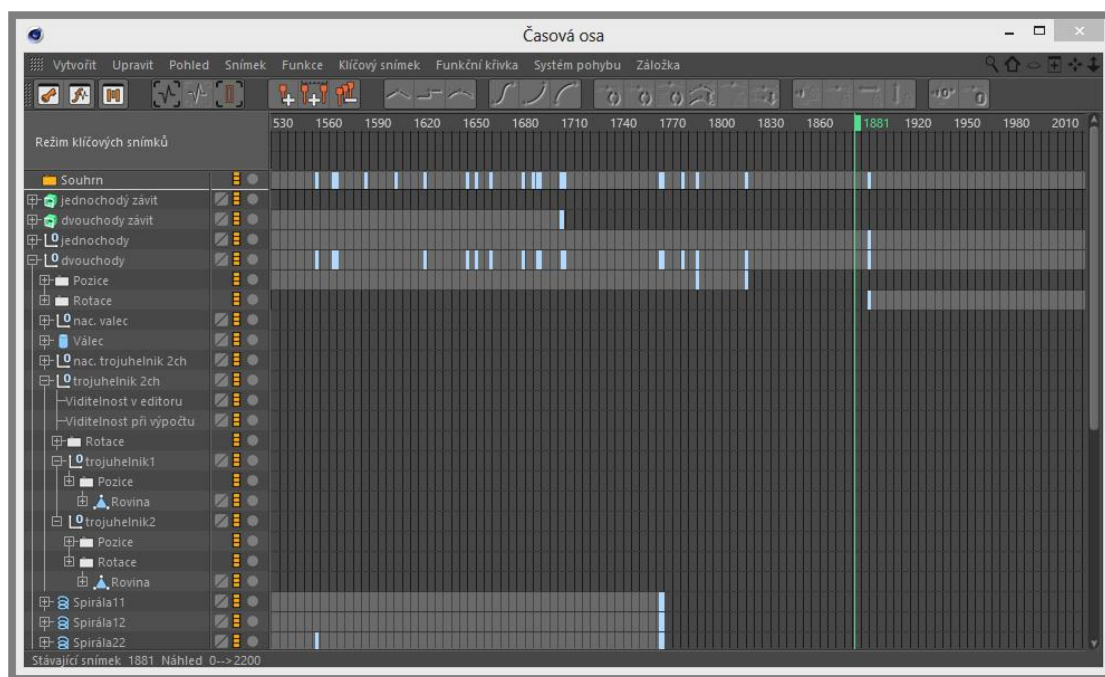
Oblast 6 – režim úprav – slouží k označení tělesa, k výběru hran, ploch, rohu, souřadného systému

Oblast 7 – základní nástroje – tento panel slouží pro nejzákladnější práci s prvkem – označení, translace, rotace, změna měřítka.

Oblast 8 – renderování – slouží k renderování do okna, spuštění renderování, nastavení renderování.

Oblast 9 – vkládání základních objektů – slouží k vytváření nových objektu do scény, k tvorbě těles, prostředí a čar pomocí kterých se vytváří veškeré prvky s tím, že objekt je vždy vložen na souřadnice počátku.

Při práci je vhodné otevřít si časovou osu na dalším monitoru, kde můžeme kontrolovat nastavení jednotlivých prvků, křivky přechodů a zobrazení klíčových snímků animace. Při animování je velmi vhodné mít zapnuté toto okno pro lepší přehlednost při práci.



Obr. 4-3 Časová osa programu Cinema 4D

5 VÝSLEDKY

5

Výsledkem této práce je vytvoření animací. Zadané animace popsané ve třetí kapitole byly vytvořeny podle postupu ve čtvrté kapitole. V této kapitole je stručně popsán průběh jednotlivých animací.

Tab. 5-1 Seznam animací a jejich vlastností

Název	Délka (s)	Počet snímků	Výsledná velikost (MB)	Velikost po exportu ze Cinema 4D (MB)
Animace 5.1	73	2200	13,2	102
Animace 5.2	31	950	2,91	40,8
Animace 5.3	45	1370	5,86	80,3
Animace 5.4	9	270	1,70	8,05
Animace 5.5	11	330	1,99	11,5

5.1 Vytvoření jednochodého a vícechodého závitu

5.1

Animace názorně popisuje tvorbu šroubovice, šroubového závitu a vytvoření jednochodého a vícechodého závitu. Závít se vždy převádí na výpočet na nakloněné rovině, tvořené pravoúhlým trojúhelníkem o odvěsnách πd_2 a P_h , znázorňujícím geometrii šroubu na středním průměru závitu. V literatuře se uvádí, že základní profil je navinut na šroubovici o průměru d_2 se stoupáním P_h . Pro lepší názornost animace tvorby závitu byl navinut základní profil na šroubovici o průměru d_3 se stejným stoupáním P_h . Z důvodu, aby v animaci při tvorbě závitové plochy nedocházelo k odčítání a přičítání části závitu, je v animaci znázorněno přičtení závitové plochy na válec o průměru d_3 .

Šroub je tvořen základním tělesem – válcem o průměru d_3 , na který je navinut základní profil šroubu po šroubovici. Šroubovice vznikne navinutím nakloněné roviny na základní válec. Délka odvěsny pravoúhlého trojúhelníka πd_3 a stoupání P_h .

U jednochodého závitu je rozteč závitu rovna stoupání. U vícechodého závitu je stoupání rovno násobku rozteče a počtu chodů závitu, tzn. že závit sousedí se závitem jiné šroubovice pootočené o úhel 360° / počet chodů závitu. V závěru této animace je vidět, že při stejné úhlové rychlosti má vícechodý závit vyšší rychlost stoupání.

5.2 Silové poměry na čtvercovém závitu

5.2

V této animaci je znázorněno převedení matice na elementární prvek na nakloněné rovině o odvěsnách πd_2 a P_h . Na prvek působí konstantní velikostí síla ve šroubu. Na šroubu je statická rovnováha, proto je v rovnováze s ní síla normálová N , třecí fN a zvedací F_{ZV} , což je znázorněno v silovém obrazci. Velikosti sil jsou vypočteny úpravou rovnic (2-2) a (2-3)

$$N = \frac{F}{\cos \psi - f \sin \psi}, \quad (5-1)$$

$$fN = f \frac{F}{\cos \psi - f \sin \psi}, \quad (5-2)$$

$$F_{ZV} = \frac{F(\sin \psi + f \cos \psi)}{\cos \psi - f \sin \psi}. \quad (5-3)$$

Dále je v animaci znázorněn rozklad normálové a třecí síly do horizontálního a vertikálního směru. Třecí síla je rovna součinu součinitele tření f a normálové síly N . Silový obrazec je uzavřený, protože platí statická rovnováha. V závěru animace je zobrazena závislost sil při měnícím se úhlu stoupání. Při nulovém úhlu stoupání se jedná o tření na rovině. Síly F a N jsou v rovnováze stejně jako F_{ZV} a fN .

5.3 Silové poměry na lichoběžníkovém rovnoramenném závitě

Tato animace je úpravou předchozí animace Silové poměry na čtvercovém závitě, kdy profil závitu není čtvercový, ale lichoběžníkový s úhlem profilu α rovnajícím se 30° . Normálová síla je vždy kolmá k závitovému boku, což způsobí, že normálová síla je odkloněna nejen o úhel ψ ale i o úhel $\alpha_n/2$. Tím se úloha rozšíří z rovinné na prostorovou a vznikne síla radiální F_R , která je v rovnováze s radiální složkou síly normálové. Velikosti sil jsou vypočteny úpravou rovnic (2-4) a (2-5)

$$N = \frac{F}{\cos \psi \cos \frac{\alpha}{2} - f \sin \psi}, \quad (5-4)$$

$$fN = f \frac{F}{\cos \psi \cos \frac{\alpha}{2} - f \sin \psi}, \quad (5-5)$$

$$F_{ZV} = \frac{F(\sin \psi \cos \frac{\alpha}{2} + f \cos \psi)}{\cos \psi \cos \frac{\alpha}{2} - f \sin \psi}, \quad (5-6)$$

$$F_R = \frac{F \sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \psi \cos \frac{\alpha}{2} - f \sin \psi}. \quad (5-7)$$

Hlavním přínosem této animace je objasnění všech sil působících na závit a odklonu normálové síly o úhel α_n a úhlu profilu závitu α .

5.4 Samosvornost šroubu

Tato animace znázorňuje změnu úhlu stoupání čtvercového závitu od samosvorné oblasti přes hranici samosvornosti do oblasti, kdy se stává šroub nesamosvorným. Příklad samosvornosti šroubu je zobrazen na čtvercovém závitě, který je názornější pro představu samosvornosti než na lichoběžníkovém závitě, jelikož se jedná o rovinnou úlohu. Z podmínky samosvornosti (1-11) pro součinitel tření $f = 0,2$ vychází úhel $\psi = 11,31^\circ$. Při menším úhlu platí podmínka

$$F \sin \psi < fF \cos \psi$$

Po vydělení obou stran silou F a $\cos \psi$ získáváme podmínku samosvornosti

$$\tan \psi < f.$$

Při překročení úhlu stoupání, který je větší než úhel samosvornosti, síla F_T se rovná součinu fN a silový obrazec už není uzavřený. Výslednice působících sil na těleso není nulová a platí podmínka

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}. \quad (5-8)$$

Těleso se dává do pohybu se zrychlením \vec{a} . Pro lichoběžníkový závit platí podmínka samosvornosti (1-13). Díky úhlu závitového boku $\alpha/2$ se šroub stává samosvorným ve větším rozsahu úhlu stoupání.

5.5 Silové poměry na čtvercovém závitě pro spouštění břemene

5.5

Tato animace je úpravou animace Samosvornost šroubu. Třecí síla je reprezentovaná podmínkou (2-2). Aby síly byly ve statické rovnováze, je doplněna síla spouštěcí. Při úhlu ψ menším, než třecí úhel φ je síla spouštěcí kladná, při rovnosti úhlu nulová a při úhlu ψ větším, než třecí úhel φ je síla záporná.

Normálová a třecí síla je v silovém obrazci rozložena do horizontálního a vertikálního směru. Popis složek těchto sil je vidět až na konci animace kvůli přehlednosti silového obrazce, vzhledem k malým složkám těchto sil při malém úhlu stoupání.

6 DISKUZE

Využití animací pro výuku v jakémkoli oboru je v dnešní virtuální době, kdy se dbá na elektronické komunikace a schopnost používání počítačů a podobných technologií už od základních škol, velmi žádoucí a vhodné. A objevují se čím dál častěji. V zahraničí jsou státy, které mají velmi propracované programy, díky kterým zapojují animování do vzdělávacího procesu. Vhodně sestavené, graficky zpracované a přehledné animace usnadňují pochopení dané problematiky díky zobrazení dynamických procesů, které mohou být přehlednější než 2D statické obrázky. Ty mohou být pro studenty s horší představivostí špatně pochopitelné a čitelné. Především grafické zpracování animace je velmi důležité pro pochopení. Vhodně připravená animace urychlí vysvětlení daného problému a ušetří čas pro důkladnější prohloubení znalostí. Urychlí se tak proces výuky, zachytí pozornost studentů více než promítání 2D obrázků. Otázkou může být, jestli je vhodné takto předkládat informace a minimalizovat prostor, aby každý student sám pochopil danou problematiku a rozvíjel se. To je ale otázka, pro úplně jiný obor zkoumání.

O použití šroubů v praxi a tvarech profilů závitu lze natočit různá výuková videa, ale není možné natočit zobrazení sil. Pro tato zobrazení jsou nejvhodnějším řešením použití animace, které názorně přibližují silové poměry, které jinak není možné vidět ve srozumitelné podobě.

Princip animace je zdánlivé rozpohybování obrázku a dynamická změna tvaru, které v reálu není možné zachytit na videokameru. Animace představuje záznam na sebe navazujících snímků, které jsou statické a odlišné a při rychlém zobrazování snímků za sebou vzniká dojem dynamického pohybu. Což je možné díky setrvačnosti lidského oka. Animace nám prohlubuje virtuální představivost.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření animací na téma silových poměrů u pohybových šroubů. Tyto animaci mají být použitelné pro zkvalitnění výuky jako doplňkový materiál pro zlepšení názornosti výuky na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Nejen proto hlavními požadavky byla zřetelnost animací, jejich snadné pochopení, názornost a důvěryhodné zobrazení probíhajících dějů.

Úvodní část této bakalářské práce, tedy kapitola 2 Přehled současného stavu poznání se zabývá teorií potřebnou k vytvoření jednotlivých animací a jejich matematickým popisem. V třetí kapitole jsou stanoveny cíle jednotlivých animací, to, jaké informace by měly obsahovat a jaké procesy vysvětlují. Kapitola 4 Metody vysvětluje postup práce pro vytvoření animace, stručný popis prostředí programu, ve kterém jsem animace vytvářel. V kapitole 5 jsou shrnuty výsledky a zásadní informace, které by měla animace předat a popis průběhu animace. V diskuzi jsou výhody animace zhodnoceny.

Nejsložitější animací na pochopení je animace silové poměry na lichoběžníkovém závitu, kvůli prostorové orientaci normálové síly odkloněné o úhel $\alpha_n/2$ který není totožný s úhlem α .

Cíl bakalářské práce byl splněný. Vytvořené animace popisují danou problematiku a mohou být použité jako doplňující materiál pro zlepšení názornosti výuky na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: spojovací části strojů: návrh, výpočet, konstrukce*. Ostrava: Montanex, 2000. ISBN 80-7225-018-3.
- [3] POSPÍŠIL, František. *Závitová a šroubová spojení*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [4] JACK A. COLLINS a HENRY R. BUSBY & GEORGE H. STAAB. *Mechanical design of machine elements and machines: a failure prevention perspective*. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. ISBN 0470413034.
- [5] Tutoriály - Cinema4D. Tutoriarts [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.tutoriarts.cz/tutorialy/autor/enthias-7669>
- [6] Tutoriály – C4D CZ MASTER. Vimeo [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://vimeo.com/cinema4dcz/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN**9**

π	(-)	konstanta
d_2	(mm)	střední průměr závitu
d_3	(mm)	malý průměr závitu
f	(-)	součinitel tření
F	(N)	síla v šroubu
F_H	(N)	horizontální síla
F_R	(N)	radiální síla
F_{SP}	(N)	spouštěcí síla
F_T	(N)	třecí síla
F_V	(N)	vertikální síla
F_{ZV}	(N)	zvedací síla
N	(N)	normálová síla
P	(mm)	rozteč
P_h	(mm)	stoupání závitu
α	(°)	úhel profilu závitu
α_n	(°)	normálový úhel profilu závitu
ψ	(°)	úhel stoupání
φ	(°)	třecí úhel
\vec{F}	(N)	síla
\vec{a}	(ms ⁻²)	zrychlení
m	(kg)	hmotnost

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1 Nakloněná rovina	14
Obr. 2-2 Šroubovice.....	14
Obr. 2-3 Síly působící na nakloněné rovině.....	16
Obr. 2-4 Síly při zvedání břemene	17
Obr. 2-5 Síly při spouštění břemene	17
Obr. 2-6 Normálová síla u lichoběžníkového závitu	18
Obr. 2-7 Normálová síla na lichoběžníkovém závitu	19
Obr. 4-1 Postup tvorby animace	23
Obr. 4-2 Pracovní rozhraní programu Cinema 4D.....	25
Obr. 4-3 Časová osa programu Cinema 4D	26

11 SEZNAM TABULEK**11**

Tab. 2-1 Součinitele tření v závitech f pro různé dvojice materiálů [1]	15
Tab. 4-1 Vlastnosti animací	24
Tab. 5-1 Seznam animací a jejich vlastnosti	27

12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A CD s vytvořenými animacemi
- Animaci 5.1 - Vytvoření jednochodého a vícechodého závitu
 - Animaci 5.2 - Silové poměry na čtvercovém závitu
 - Animaci 5.3 - Silové poměry na lichoběžníkovém rovnoramenném závitu
 - Animaci 5.4 - Samosvornost šroubu
 - Animaci 5.5 - Silové poměry na čtvercovém závitu pro spouštění břemene